



02. međunarodni kongres
DANI INŽENJERA STROJARSTVA
Split, 23 - 26. ožujka 2011.
Programski odbor

TEHNIČKO TEHNOLOŠKI ASPEKT KORIŠTENJA ENERGIJE VJETRA U REPUBLICI HRVATSKOJ

Branimir Matijašević, Zvonimir Guzović

Fakultet strojarstva i brodogradnje, Ivana Lučića 5, 10000 Zagreb, +385 (0) 1 6168147
branimir.matijasevic@fsb.hr, zvonimir.guzovic@fsb.hr

Sažetak: U prvom dijelu rada dan je osvrt na problematiku korištenja energije vjetra u Republici Hrvatskoj. Polazeći od realnosti karakteristika raspoloživih vjetropotencijala, koji se temelje na lokanim i sezonskim vjetrovima, nužno je u fazi pripreme projekta izgradnje novih vjetroelektrana provesti temeljita ispitivanja parametara vjetra na potencijalnoj lokaciji. Također, u radu je ukazano da ništa manje nije važno provesti analizu optimalnog rasporeda turboagregata u vjetroelektrani obzirom na njihov predviđeni broj i veličinu. U drugom dijelu rada je ukazano na proizvodne potencijale domaće industrije obzirom na postojeće i nove tehnologije izrade komponenti vjetroatregata, koje je nužno uključiti u buduće projekte vjetroelektrana u Republici Hrvatskoj.

Ključne riječi: vjetroelektrana, vjetroturbina, vjetar

1. UVOD

Potreba za sve većim uključivanjem obnovljivih izvora energije u energetske sustav zemlje nužno nameće niz pitanja od kojih će ovdje biti razmotrena samo dva: koji su vjetropotencijali raspoloživi za ekonomski opravdane investicije, te koja je moguća uloga domaćih proizvođača u opremanju vjetroelektrana.

Vjetropotencijal neke regije ovisi o njenom geografskom položaju obzirom na utjecaj globalnih vjetrova, čiji karakter je godišnja periodičnost uz relativno stabilne uvjete strujanja. Osim takvih vjetrova, kao vjetropotencijal se iskorištavaju i lokalni sezonski ili dnevni vjetrovi, koje također karakterizira periodičnost, no ovaj puta su promjene njihovih smjerova i intenziteta puno učestalije, pa su stoga manje pogodni za kontinuirano uključivanje u elektroenergetsku mrežu.



Pod kontekstom tehničkog aspekta korištenja vjetropotencijala misli se na pogodne tipove vjetroturbina obzirom na lokalne karakteristike vjetra.

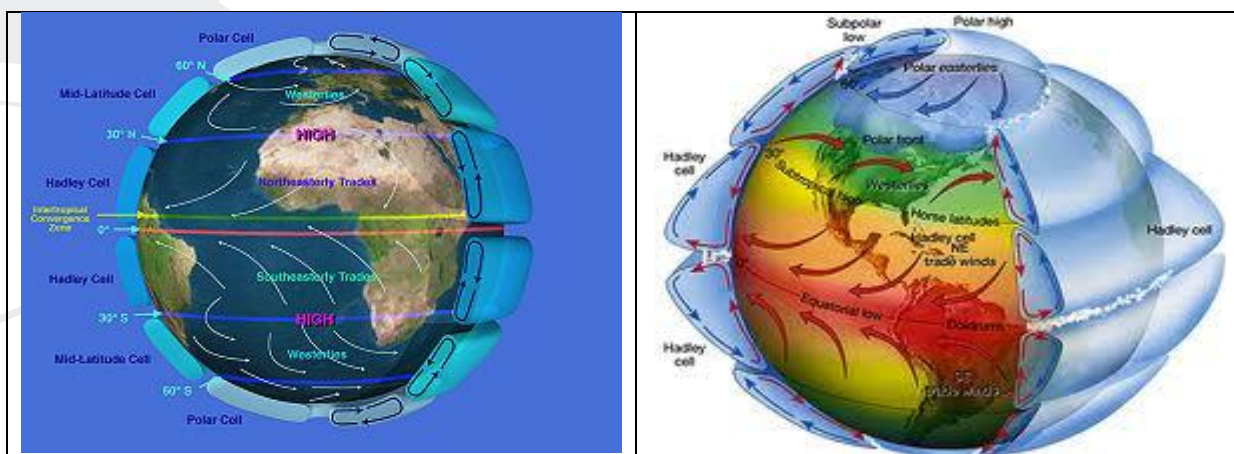
Pod tehnološkim aspektom se podrazumijevaju mogućnosti proizvodnih potencijala domaće elektro-strojarske i građevinske operative za proizvodnju i montažu opreme vjetroturbina.

2. NASTANAK VJETRA

2.1. Globalni vjetrovi

Zbog sunčevog zagrijavanja površine zemlje formiraju se područja viših i nižih tlakova u atmosferi. Do izjednačavanja tlakova u atmosferi dolazi strujanjem zraka iz područja viših prema području nižih tlakova. Ta pojava je prisutna kako na globalnoj tako i na lokalnoj razini. Nastale cirkulacije zraka na globalnoj razini opisuju:

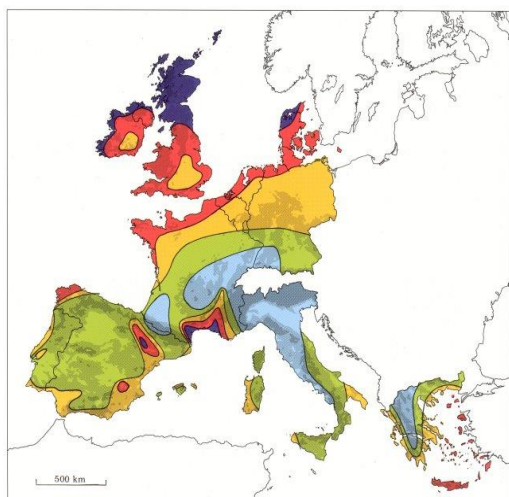
- Hadleyeve ćelije koje se formiraju u područje ekvatora, gdje se zrak brže zagrijava zbog jačeg sunčevog zagrijavanja površine zemlje te diže u atmosferu, slika 1. Zajedno sa strujanjem nastalim uslijed vrtnje zemlje, formira se u području ekvatora Hadleyev ili istočni tropski vjetar. Te ćelije sežu do 30° sjeverne i južne širine.
- Strujanje zraka u polarnim ćelijama, slika 1, nastaje zbog većeg tlaka hladnijeg zraka na polovima koji struji prema zemlji, i dalje po površini zemlje prema manjim geografskim širinama. Zrak se pri tome zagrijava, pa se na od oko 60° sjeverne i južne širine počinje dizati.
- Ferrelove ćelije formiraju se u području srednjih geografskih širina kao posljedica južne Hadleyeve i sjeverne polarne ćelije, slika 1. Svako strujanje zraka, bilo okomito ili vodoravno, posljedica je razlike tlaka.
- Navedena tri strujanja zraka, zajedno sa strujanjem zbog vrtnje zemlje, uzrokuju u području Hadleyeve i polarne ćelije sjeveroistočne i jugoistočne vjetrove, a u području Ferrelovih ćelija dolazi do popunjavanja ispražnjenog prostora uslijed prethodna dva strujanja, pa se formiraju sjeverozapadni i jugozapadni vjetrovi, slika 1.



Slika 1 Shematski prikaz formiranja globalnih vjetrova: Hadleyeve, Ferrelove i polarne ćelije i vjetrovi koji nastaju iz prethodne tri ćelije i zbog vrtnje zemlje



Slika 2 prikazuje raspodjelu brzine vjetrova za zemlje članice EU na 50 metara iznad tla.

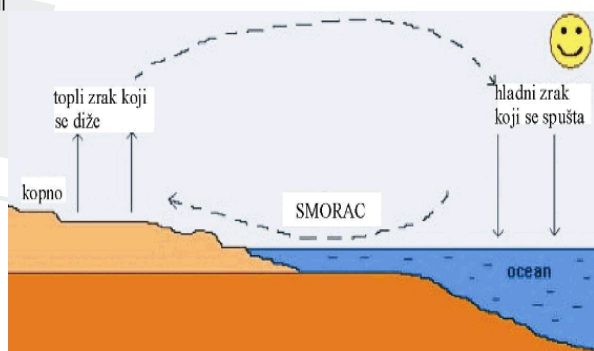


Wind resources ¹ at 50 metres above ground level for five different topographic conditions									
Sheltered terrain ²		Open plain ³		At a sea coast ⁴		Open sea ⁵		Hills and ridges ⁶	
m s ⁻¹	Wm ⁻²	m s ⁻¹	Wm ⁻²	m s ⁻¹	Wm ⁻²	m s ⁻¹	Wm ⁻²	m s ⁻¹	Wm ⁻²
> 6.0	> 250	> 7.5	> 500	> 8.5	> 700	> 9.0	> 800	> 11.5	> 1800
5.0-6.0	150-250	6.5-7.5	300-500	7.0-8.5	400-700	8.0-9.0	600-800	10.0-11.5	1200-1800
4.5-5.0	100-150	5.5-6.5	200-300	6.0-7.0	250-400	7.0-8.0	400-600	8.5-10.0	700-1200
3.5-4.5	50-100	4.5-5.5	100-200	5.0-6.0	150-250	5.5-7.0	200-400	7.0- 8.5	400- 700
< 3.5	< 50	< 4.5	< 100	< 5.0	< 150	< 5.5	< 200	< 7.0	< 400

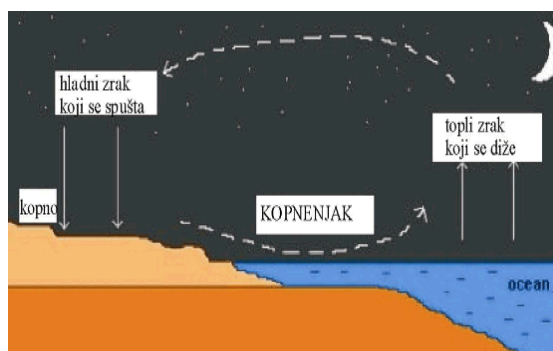
Slika 2 Atlas vjetrova za zemlje članice EU na visini 50 m iznad zemlje

2.2. Nastajanje vjetrova u priobalju

U priobalju se formiraju lokalni vjetrovi uslijed izjednačavanja tlaka toplijeg i hladnijeg zraka. Dnevni morski vjetar u priobalju posljedica je postojanja hladnijeg zraka na moru zbog njegovog većeg toplinskog kapaciteta. Nad kopnom se formira sloj toplijeg zraka zbog manjeg toplinskog kapaciteta kopna i time njegovih viših temperatura. Topliji zrak se podiže u vis, a njegovo mjesto popunjava hladniji zrak s mora, slika 3.a. Tipičan dnevni vjetar u našem priobalju je maestral. Po noći se tlo brže hladi od mora pa je strujanje vjetra u suprotnom smjeru, slika 3.b.



a) Dnevno lokalno strujanje u priobalju



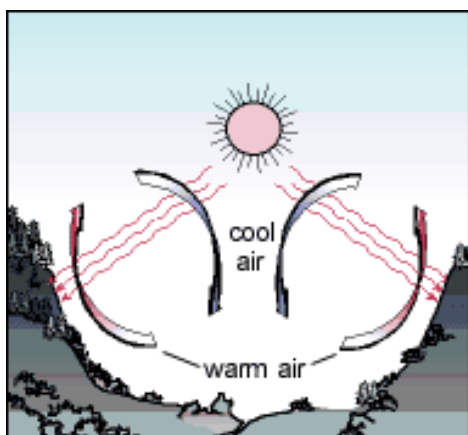
b) Noćno lokalno strujanje u priobalju

Slika 3 Karakteristike vjetrova u priobalju

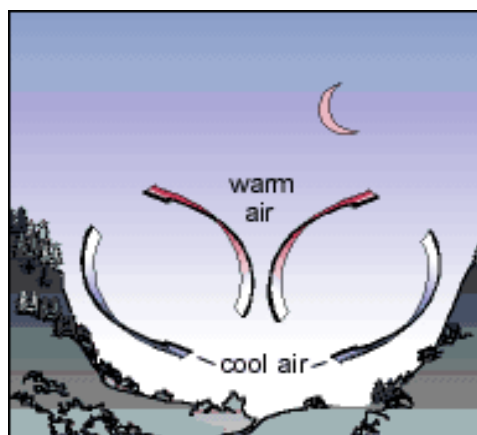


2.3. Nastajanje vjetrova u gorju

Za doline u gorju karakteristično je tokom dana brže zagrijavanje zraka na južnim padinama pa tamo topliji zrak struji prema gore, a njegovo mjesto popunjava zrak sa sjevernih padina, slika 4.a. Po noći se gornji slojevi zraka brže hlade pa se on po obroncima spušta prema dolje, a topliji zrak iz područja bliže tlu diže prema gore, slika 4.b.



a) Cirkulacija zraka danju



b) Cirkulacija zraka noću

Slika 4 Karakteristike dnevnih i noćnih vjetrova u planinskim područjima

2.4. Vjetrovi u priobalju Republike Hrvatske

Od svih vjetrova koji pušu u našem priobalju, zbog udjela u energetske potencijalu potrebno je spomenuti samo tri:

1. Bura je najpoznatiji vjetar na jadranskom obalnom području. Puše s kopna na more, uglavnom sa sjeveroistoka, a po naravi je mahovit vjetar (mahovit - puše na udare ili "refule"). Puše po nekoliko dana, a nastaje prelijevanjem hladnog zraka iz Panonske zavale preko Dinarida na obalu. Po snazi i brzini bure posebno se ističu Rijeka, Senj, Maslenica, Split, Vrulja i Makarska, a njena učestalost opada od sjevernog prema južnom Jadranu. Najjača bura nastaje pri prijelazu kroz planinske prijevoje, kroz koje se hladni zrak kanalizira. Jačina bure znatno ovisi i o lokalnoj topografiji, a udaljavanjem od obale slabi.

Postoje dvije vrste bure:

- Anticiklonalna ili vedra bura koja puše za stabilna vremena, odnosno kad se nad srednjom Europom nalazi anticiklona, a istovremeno je nad Sredozemljem jedna ili više ciklona. Donosi lijepo i sunčano vrijeme, a na grebenima obalnih planina, npr. Velebita ili Biokova, može stvarati kape oblaka. Za vrijeme anticiklonalne bure nebo je kristalno vedro, zrak čist i proziran, a vidljivost odlična. Zimi donosi vrlo hladan zrak, a ljeti



ugodno osvježanje. Rado se dočekuje kao vjetar koji donosi dobro raspoloženje i ugodu, naročito poslije juga.

- Ciklonalna ili tamna, škura bura. U slučaju kada Jadranom prolazi ciklona od sjeverozapada prema jugoistoku, tada na prednjoj (jugoistočnoj) strani ciklone puše jugo, a na stražnjoj (sjeverozapadnoj) bura, koja puše uz oblačno nebo te kišu i snijeg. Taj tip bure zove se ciklonalna, tamna, mračna ili škura bura. Ciklona se razmjerno brzo kreće duž Jadrana, te mračna bura kratko traje i prelazi u vedru buru. Neugodnija je od vedre. Oblačni sloj iz kojeg pada kiša ili snijeg tijekom mračne bure ne nastaje u zraku bure koja se spušta niz primorske planine, kao što je slučaj kod vedre bure, već u toplom zraku koji se pred njim uzdiže i na visini kreće prema kopnu.

2. Jugo je topao i vlažan zrak koji puše uglavnom u regijama srednjeg i južnog Jadrana. Najčešće puše kao jugoistočni vjetar, a nastaje tako da se zračna masa iz sjeverne Afrike, prolazeći preko Sredozemlja obogati vlagom, pa kod nas dolazi kao topao i vlažan zrak. Kada se iznad Genovskog zaljeva formira polje niskog tlaka, a osobito kada se ciklona formira nad sjevernim Jadranom, jugo može postati i vrlo jako. Razmjerno dug put duž Sredozemlja i Jadrana omogućava mu stvaranje velikih valova, nakupljanje velike količine vlage, te gomilanje gustih tamnih oblaka koji donose kišu. Kod dubokih ciklona njegov se utjecaj može osjećati i u kontinentalnim dijelovima Hrvatske (južina). Slično kao i kod bure, i jugo može biti anticiklonalno i ciklonalno:

- anticiklonalno (suho, gnjilo) jugo nastaje u situaciji kad je nad jugoistočnom Europom anticiklona, a nad zapadnom ciklona. Tada je vrijeme često vedro ili uz visoku naoblaku, a temperatura i vlažnost zraka rastu.
- ciklonalno jugo nastaje premještanjem ciklone iz zapadne Europe na Jadran. Riječ je u stvari o zračnom strujanju u toplom sektoru ciklone (nakon čijeg prolaska zapuše ciklonalna bura). Prate ga kiša i grmljavina, a ponekad i vjetar olujne brzine.

3. Maestral je vjetar koji puše u toplom dijelu godine, od polovice svibnja do polovice rujna. Nastaje zajedničkim djelovanjem globalnog strujanja (između Azorske anticiklone i Karachi depresije) i dnevne cirkulacije između kopna i mora. Duž obale puše kao sjeverozapadnjak, ali je modificiran lokalnim reljefom. Obično počinje puhati sredinom prijepodneva, najjači je u rano poslijepodne, a navečer se smiruje. To je vjetar stabilnog vremena koji donosi osvježanje, te ga ljudi iščekuju s veseljem.

Kao potencijalni izvor energije vjetra u priobalju, koje je danas najinteresantnije za investitore, korisno je razmotriti tablicu 1. Uočava se da vjetrovi brzina između 12 i 14 m/s, najveći broj dana pušu u području srednjeg Jadrana (Šibenik, Split), i u području Senja na sjevernom Jadranu. U ostalim područjima takvi vjetrovi pušu manje od 20% dana u godini. Još je nepovoljnija situacija s vjetrovima većeg intenziteta, 18 do 21 m/s, kada je učestalost na najpovoljnijim lokacijama ispod 15 %.

2.5. Vjetrovi u kopnenom dijelu Republike Hrvatske

U kontinentalnom dijelu Republike Hrvatske vjetrovi su slabiji nego na Jadranu, i vezani su uglavnom uz prolaske fronti ili ciklona, osobito u proljeće. Nemaju posebnih naziva nego se



nazivaju prema smjeru odakle pušu. Općenito se može reći kako sjeverni vjetrovi na kopnu pušu na mahove, dok su južni stabilniji. Za vrijeme stabilne situacije najčešće pušu vjetrovi iz sjevernog kvadranta, od sjeverozapadnjaka do sjeveroistočnjaka. Pred promjenu vremena zapušu južni vjetrovi koji za vrijeme prelaska ciklone s južnih okrenu na zapadne i naposljetku opet na sjeverne smjerove. Ova promjena smjera najčešće ide u smjeru kazaljke na satu.

1. Sjeveroistočni vjetar javlja se povremeno u kopnenom dijelu Republike Hrvatske. Puše sa sjeveroistoka, kako to kaže i njegovo ime, uglavnom zimi, te donosi vedro i hladno vrijeme. Na ljude djeluje slično kao bura.

2. Fen puše u području oko Ogulina kao topao i jako suh vjetar, koji se još naziva i vjetar s planine a upravo je zbog njega Ogulin ponekad najtopliji grad u zemlji! Fen puše svugdje gdje su ciklonska i anticiklonska zračna strujanja i visoke planine. Za svaki planinski vjetar koji dolazi topliji nego što je bio zrak prije puhanja, kaže se da ima karakteristike fena.

Tablica 1 Učestalost vjetrova u priobalju Republike Hrvatske

Broj dana u godini s vjetrom jačim od 6 (12-14 m/s) i 8 (18-21 m/s) Beauforta		
Meteorološka stanica	Srednji broj dana s vjetrom >6 (12-14 m/s)	Srednji broj dana s vjetrom >8 (18-21 m/s)
Rovinj	4.4	0.4
Poreč	12.9	1.0
Pula	44.3	11.5
Rijeka	40.5	10.0
Krk	40.8	3.3
Mali Lošinj	13.4	1.0
Rab	63.2	26.6
Senj	143.9	48.8
Zadar	39.1	0.6
Šibenik	123.9	33.3
Komiža	13	1.2
Split	106.7	21.9
Kaštela	11.9	0.7
Hvar	28.0	2.4
Makarska	37.4	8.8
Korčula	28.2	6.3
Lastovo	83.5	10
Dubrovnik	98.1	23.7

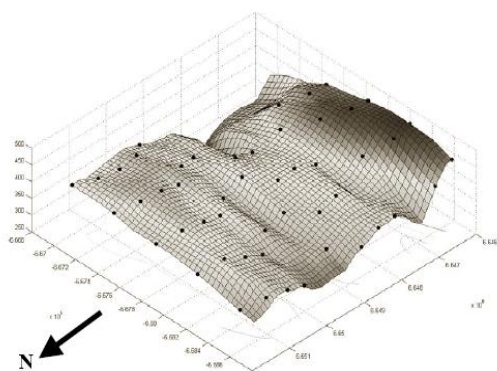
2.6. Optimiranje vjetroelektrana

Važna faza projekta vjetroelektrane je rješavanje problema rasporeda turbina unutar nje u svrhu postizanja maksimalnog zahvata energije vjetra na nekoj lokaciji. Problem se svodi na

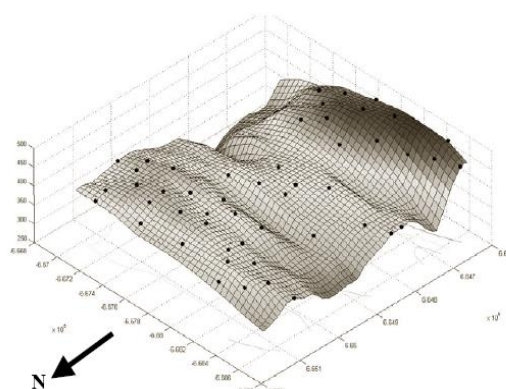


ostvarivanje minimalnih gubitaka uslijed međusobnog utjecaja vjetroturbina, uključivši konfiguraciju terena te karaktere dominantnih vjetrova. Premda taj problem još uvijek privlači pozornost znanstvene zajednice, dosadašnjim postojećim pristupima i računalnim programima moguće je djelomično odgovoriti potrebama investitora u fazi pripreme projekata za nove vjetroelektrane, slika 5.

Odgovori na kompleksnija pitanja projektiranja vjetroelektrana zahtijevaju uključenje u model optimizacije vrijednosti investicije, počevši od početnih ulaganja do završno priključenja na mrežu, te također vrijednosti godišnjih neto novčanih tokova tijekom cijelog njenog životnog vijeka. Budući algoritmi će izračunavati godišnji prihod iz prodaje neto proizvedene električne energije, uzimajući također u obzir pojedine moguće izvanredne troškove održavanja.



a) Intuitivni raspored vjetroturbina na lokaciji



b) Raspored vjetroturbina nakon optimizacije programom AMPL-CPLEX rješavačem

Slika 5 Intuitivni i optimirani raspored vjetroagregata u vjetroelektrani

2.7. Veličine vjetroturbina i ograničenja na njih

Većina velikih turbina proizvodi svoje maksimalne snage pri brzinama vjetra od oko 15 m/s (33 km/h). Kod konstantne brzine vjetra promjer rotora određuje koliko energije turbine mogu preuzeti. Treba imati na umu da se s povećanjem promjera rotora povećava i visina stupa, a time i zahvat u vjetar veće brzine na istoj lokaciji.

Nova generacija vjetroturbina dizajnirana je za snage od jednog do 10 MW. Zajednička značajka ovih većih snaga su sve veće i veće lopatica vjetroturbina. Postizanje veće učinkovitosti turbine uz istovremeno povećanje omjera obodne brzine lopatice i brzine vjetra (TSR-„tip speed ratio“), povećava sposobnost turbine za efikasniji zahvat energije vjetra.

Trenutna tehnologija izrade lopatica vjetroturbina omogućava duljine lopatice do 50 metara, a u fazi ispitivanja su prototipovi u rasponu od 55 do 60 metara. Godine 2001. oko 50 milijuna kilograma laminirane stakloplastike ugrađeno je u lopatice vjetroturbina. Razvoj novih materijala i tehnologija izrade omogućit će zbog poboljšanja mehaničkih karakteristika izradu



lopatica još većih duljina, uz bolje aerodinamske karakteristike, a time i poboljšanu učinkovitost.

Približno vrijedi korelacija između duljine lopatice (odn. promjera rotora) i snage vjetroturbine prikazana u tablici 2.

Tablica 2 Korelacija između promjera rotora (duljine lopatice) i snage vjetroturbine

Promjer rotora (m)	10	17	27	33	40	44	48	54	64	72	80
Izlazna snaga (kW)	25	100	225	300	500	600	750	100	1500	2000	2500

2.8. Zaključak uz 2. poglavlje

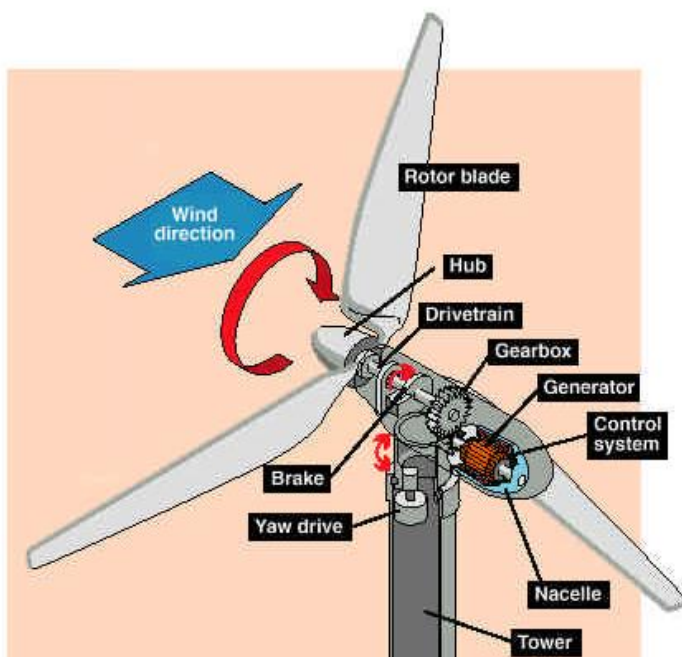
Iz prikazanog pregleda vjetrova koji pušu u priobalju i na kopnu u Republici Hrvatskoj vidljivo je da su dominantni lokalni i sezonski vjetrovi. Podaci iz tablice 1 ukazuju na relativno mala područja u priobalju gdje pušu vjetrovi značajnijeg energetskeg potencijala. Uzmemo li se u obzir regionalni planovi prostornog uređenja, nameće se nužan oprez u procjeni ukupnog vjetropotencijala priobalja. Još je lošija situacija u kopnenom dijelu Republike Hrvatske, gdje su vjetrovi skromnijeg energetskeg potencijala.

3. PROIZVODNJA VJETROAGREGATA

U okviru ovog rada bit će dan kratak osvrt na proces razvoja i mogućnosti proizvodnje vjetroatregata obzirom na postojeće i moguće nove tehnologije u Republici Hrvatskoj.

Na slici 6 prikazani su osnovni sastavni dijelovi vjetroatregata s horizontalnom osi vrtnje.





Opis slike:

Rotor blade - Lopatica rotora;
Hub – Glavina;
Drivetrain - Pogonsko vratilo;
Brake – Kočnica;
Gearbox – Multiplikator;
Nacelle – Gondola;
Generator – Električni generator;
Control system - Sustav regulacije;
Yaw drive - Zakret gondole;
Tower - Stup

Slika 6 Shematski prikaz osnovnih dijelova vjetroagregata

U tablici 3 dan je prikaz težinskog i troškovnog udjela osnovnih komponenti vjetroagregata u njegovoj ukupnoj težini i cijeni. Očito je da je dominantan udio strojarske opreme. Treba napomenuti da će se u budućnosti umjesto čeličnog stupa početi koristiti stupovi od armiranog betona.

Tablica 3 Prikaz težinskog i troškovnog udjela osnovnih komponenti vjetroagregata u njegovoj ukupnoj težini i cijeni

Komponenta	% težine	% cijene
Rotor	10-14	20-30
Gondola i pristroj	25-40	25
Reduktor	5-15	10-15
Generator i prateća oprema	2-6	5-15
Težina na stupu	35-40	N/A
Stup	30-65	10-25

3.1. Lopatice vjetroturbine

Jedan od najsloženijih zadataka pri daljnjem povećanju duljine lopatica vjetroturbina je postizanje njihovih mehaničkih karakteristika koje zahtijevaju složena opterećenja uslijed masenih i aerodinamskih sila.

Trenutna tehnologija proizvodnje lista lopatice duljina 40 do 50 se temelje na provjerenim postupcima primjene kompozitnih materijala stakloplastike. Neki proizvođači koriste proces



infuzije kod proizvodnje lopatica dok drugi koriste varijacije na ovu tehniku, pa tako neki uključuju ugljik i drvo sa stakloplastikom u epoksidne matrice. Kompoziti na bazi epoksidne smole se danas najčešće koriste za izradu lopatica jer su oni prihvatljivi sa stanovišta utjecaja na okoliš, proizvodne cijene i zahtijevanih mehaničkih karakteristika. Epoksidna tehnologija omogućava efikasnu reparaciju lista lopatice, njenu povećanu trajnost i poboljšane kvalitete površine. U suštini svaka od tih opcija su varijacije na istu temu: staklenim vlaknima ojačanog kompozita polimera.

Širok je spektar materijala koji se koriste za izradu lopatica vjetroturbina. Postoje značajne razlike između malih i velikih strojeva, a tu su i predstojeće promjene u dizajnu za koje će biti potrebno uvođenje novih tehnologija i materijala, te postupaka izrade. Preuzimanjem tehnologija iz zrakoplovne industrije, npr. izrade rotora helikoptera, gdje se koriste laminati od karbonskih vlakana, postižu se danas konstrukcije poboljšanih mehaničkih karakteristika uz istovremeno značajno smanjenje težine. Procjenjuje se da upotreba karbonskih vlakana za izradu lopatica turbine duljine preko 60 m će rezultirati smanjenjem težine za 38%, uz smanjenje troškova izrade za oko 14% u odnosu na 100% izradu od stakloplastike. Upotreba karbonskih vlakana ima dodano prednost u smanjenju debljine laminirane stjenke u usporedbi sa stakloplastikom. Primjena karbonskih vlakana na lopatice vjetroturbina u krajnjoj liniji omogućit će daljnje povećanje duljina lopatica, a time i jediničnih snaga vjetroatregata. Karakteristika grafitnih laminata je veća čvrstoća i otpornost na zamor materijala.

Manje lopatice se mogu izrađivati od laganih metala poput aluminija. Drvo i jedreno platno izvorno su korištene za vjetrenjače zbog svoje niske cijene, dostupnost i jednostavnost izrade. Međutim, ovi materijali zahtijevaju češće održavanje tijekom njihovog radnog vijeka. Iz tih razloga oni su uglavnom zamijenjeni čvrstim materijalima.

3.2. Električni generator

Generatori s promjenjivom brzinom vrtnje

Vrste generatora s promjenjivom brzinom vrtnje:

- Sinkroni ili asinkroni generator s pretvaračem u glavnom strujnom krugu;
- Asinkroni generator s upravljivim promjenljivim klizanjem;
- Asinkroni generator s nadsinkronom ili podsinkronom pretvaračkom kaskadom.

Generatori s nepromjenjivom brzinom vrtnje

- *Vjetroturbina s asinkronim generatorom:* Asinkroni generatori se najčešće priključuju na krute električne mreže. Krutu mrežu karakterizira velika naponska i frekvencijska stabilnost. Osnovna prednost im je jednostavnija i jeftinija konstrukcija, iako s druge strane moraju imati kompenzacijski uređaj (uglavnom uklopive kondenzatorske baterije) i priključni uređaj kako bi se omogućilo početnu sinkronizaciju s mrežom.
- *Vjetroturbina sa sinkronim generatorom:* Upotrebljavaju se za priključak na ne tako krute električne mreže, npr. kod spajanja na otočni električni sustav. Ovdje su potrebni uzbudni



sustav i regulator brzine koji će održavati napon i frekvenciju. Ovakvi generatori ne mogu se pronaći u komercijalnim izvedbama sa stalnom brzinom u pogonu na krutu mrežu. Kod vjetroturbina nazivnih snaga većih od 500 kW naročito je izražena potreba za uključivanjem sustava za regulaciju kuta zakretanja lopatica rotora, što inače nije slučaj, pa tako da se spomenuti sustav ne izvodi u svim jedinicama.

3.3. Prijenosnici snage

Multiplikatori koji se koriste na velikim turbinama su danas tehnološki zahtjevniji, teški i skupi, a u budućnosti će biti zamjenjeni AC-DC-AC konverterima što će omogućavati promjenjivu brzinu vrtnje, a time i rad turbine pri optimalnom TSR (odnos obodne brzine lopatice i brzine vjetra).

3.4. Gondola

Gondola sadrži niz složenih sustava, uključujući pogone za vlastito zakretanje i zakretanje rotorskih lopatica, disk kočnice, osovine, ležajeve, uljne pumpe i hladnjake, sustav regulacije i zaštite, itd. To su područja u kojima pojednostavljenja i inovacije u budućnosti mogu dati značajan doprinos.

3.5. Stupovi

Korištenje jeftinijih materijala za izgradnju stupova prvenstveno je važno zbog njihovog velikog udjela u težini vjetroagregata, i do 65%. Zbog toga se u Europi za izradu stupova za „off-shore“ ili agregate u blizini morske obale sve više koristi prednapregnuti beton, čime se snižavaju troškove izrade, iako se u armaturu ugrađuje gotovo ista količina čelika kao i u stupove od čelika.

3.6. Zaključci uz 3. poglavlje

Iz analize materijala koji su do sada korišteni za izradu dijelova vjetroturbina mogu se izvući sljedeća zapažanja:

- Materijal za izradu turbinskih dijelova i dalje će pretežito biti čelik, no postoje mogućnosti za uvođenje aluminija ili novih laganih kompozita, pod uvjetom da ispunjavaju zahtjeve čvrstoće i otpornosti na zamor.
- Zamjena multiplikatora generatorom s permanentnim magnetima i AC-DC-AC konverterom omogućit će promjenjivu brzinu vrtnje turbine, a time i povećanu iskoristivost vjetroagregata.
- Pojednostavljenje pomoćnih sustava u gondolama, ne samo da može smanjiti troškove njihove izrade nego i doprinijeti povećanoj pouzdanosti.



- Lopatice vjetroturbina će se u budućnosti i dalje izrađivati pretežito od stakloplastike, no uskoro se očekuje brz razvoj laminata na bazi grafitnih vlakana što će dovesti do smanjenja težine lopatica i cijene njihove izrade, a povećati će im se izdržljivost i pouzdanost.
- Sve više će biti korišteni stupovi od prednapregnutog betona uz ugradnju znatno veće količine armaturnog čelika.
- Najveće tržište vjetaroagregata, komponenti i materijala za izradu će u budućnosti biti izvan Europe i Sjeverne Amerike, no daljnji razvoj će se i dalje odvijati u njima.

4. ZAKLJUČAK



Cilj ovog rada bio je ukazivanje na dva od niza aspekata problematike vezane uz projektiranje, izradu i izgradnju vjetroelektrana velikih snaga. Ukazano je na problematiku raspoloživih vjetropotencijala u Republici Hrvatskoj. Iz prikaza proizlazi da je obzirom na karakter vjetrova koji pušu u priobalju i na kopnu u Republici Hrvatskoj nužan oprez u procjeni potencijala za izgradnju vjetroelektrana. Jedini pouzdan pristup su višegodišnja sustavna mjerenja na potencijalnim lokacijama i to na referentnim visinama, jer se sami profili brzina vjetra po visini od lokacije do lokacije značajno mijenjaju. Iz prikaza problematike proizvodnje komponenti vjetaroagregata može se zaključiti da već i postojeće tehnologije prisutne u industriji u Republici Hrvatskoj omogućavaju značajan udio u proizvodnji vjetroturbina. Velika iskustva u brodogradnji s korištenjem stakloplastike u proizvodnji brodova omogućavaju prijelaz na druge proizvode, pa tako i na proizvodnju lopatica vjetroturbina. Uz postojeću tehnološku kulturu ne može biti problem prihvatanja novih tehnologija kao što je korištenje grafitnih vlakana ili općenito tehnologija preuzetih iz zrakoplovne industrije. Nadalje, nema dvojbe da su domaći proizvođači elektro opreme i pratećih sustava, kao na primjer Končar, kompetentni za projektiranje i izradu dijelova vjetaroagregata i vjetroelektrana. Ova saznanja kvalificiraju domaću industriju da se uključi u projekte vjetroelektrana samostalno ili kao koperant s vanjskim izvođačima, koristeći svoje komparativne prednosti kao što je moguća lokacija proizvodnih postrojenja na obali, čime se značajno smanjuju troškovi transporta proizvoda velikih dimenzija.



LITERATURA



- [1] Layton, J., *How Wind Power Works*, August 2006.
- [2] Samorani, M., *The Wind Farm Layout Optimization Problem*, Leeds School of Business - Research Paper Series, Leeds, January 2010.
- [3] Ancona D., McVeigh J., *Wind Turbine – Materials and Manufacturing*, Fact Sheet Princeton Energy Resources International, Princeton, August 2001.
- [4] <http://www.meteo-info.hr/meteoclanci/vjetrovi.php>
- [5] <http://sibenik-meteo.webs.com/vrijemeiklimajadrana.htm>